

การศึกษาระดับของความเค็มที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรม  
ของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

STUDY OF SALINITY LEVEL AFFECT TO THE ENGINEERING PROPERTIES OF  
SOIL IN NORTHEAST THAILAND

ยุทธลักษณ์ ชูวรเชษฐ์ (Yuttalucky Chuworachet)<sup>1</sup>  
ประทีป ดวงเดือน (Prateep Duangdeun)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (yuttalucky@hotmail.com)

<sup>2</sup>รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (fptd@ku.ac.th)

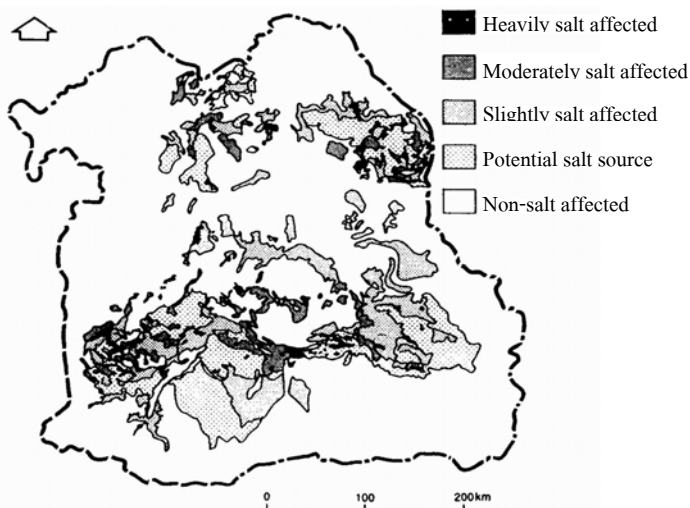
**บทคัดย่อ :** การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาระดับของความเค็มที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยเก็บตัวอย่างดินใน อ. บ้านดุง จ. อุดรธานี ผลการวิจัย พบว่าตัวอย่างดินสามารถจำแนกได้เป็น SM-SC และมีระดับความเค็มซึ่งวัดจากค่าความนำไฟฟ้า (Electric Conductivity, EC) ของดินตามธรรมชาติเท่ากับ 57.85 dS/m การทดสอบแรงเฉือนโดยตรงพบว่าเมื่อ EC เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่ม EC ไม่มีผลต่อค่า  $c$  แต่ค่า  $c$  จะลดลงเมื่อระดับความอิ่มตัวเพิ่มขึ้น ค่า  $\phi$  จะเพิ่มขึ้นเมื่อ EC เพิ่มขึ้นและระดับความอิ่มตัวลดลง โดยเมื่อระดับความอิ่มตัวลดลงทุก ๆ 10 % ค่ามุมเสียดทานภายในจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.80, 1.20, 1.35, 1.47 และ 1.41 องศา ที่ค่า EC ของดินเท่ากับ 57.85, 146.40, 234.95, 323.50, และ 412.50 dS/m ตามลำดับ ค่าระดับการกระจายตัวของดินจากการทดสอบด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ และการทดสอบพินโฮล พบว่าการทดสอบทั้ง 2 วิธีให้ผลสอดคล้องกันคือ ที่ EC เท่ากับ 146.40 dS/m ดินจะมีระดับการกระจายตัวน้อยที่สุด คือ จัดเป็นดินไม่กระจายตัว หรือมีระดับการกระจายตัวต่ำ

**ABSTRACT :** This research intended to study salinity level affect to the engineering properties of soil in Northeastern Thailand. The studies were done by soil sampling in Ban Dung District, Udonthani Province. According to the results of this research, the soil sample was classified as SM-SC and its salinity level measured by electric conductivity (EC) of natural soil was 57.85 dS/m. The results of direct shear test showed that when the EC was increased the shear strength was increased. The increasing of EC did not affect the  $c$ , but value of  $c$  decreased when the degree of saturation increased.  $\phi$  increased with increasing EC and the degree of saturation was decreased. Every 10 % reduction of the degree of saturation  $\phi$  averagely increased to 0.80, 1.20, 1.35, 1.47 and 1.41 degrees while the salinity of soil was 57.85, 146.40, 234.95, 323.50 and 412.50 dS/m, respectively. The degree of dispersion tested by double hydrometer test and pinhole test, indicated that these two methods gave the same results. That is, when the salinity of soil was equal to 146.40 dS/m, the soil would have the least dispersion. Such a soil could be accordingly regarded as non-dispersion or moderately dispersion.

**KEYWORDS:** Saline Soil, Dispersive Soil, Shear Strength

## 1. บทนำ

ดินเค็ม หมายถึง ดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือ (Salt affected soils) หรือดินที่ประกอบด้วยเกลือที่ละลายน้ำได้อยู่มาก โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นพื้นที่หนึ่งที่พบปัญหาเกี่ยวกับดินเค็มและดินกระจายตัว เนื่องจากมีพื้นที่ถึง 17.8 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ดินเค็ม (ข้อมูลปี 2531) นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่ดินเค็มมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี ทั้งนี้เนื่องจากสภาพทางธรณีวิทยาในภูมิภาคนี้มีหินเกลืออยู่ใต้ดินเป็นจำนวนมาก เมื่อประกอบกับสภาพภูมิอากาศที่มีช่วงแห้งแล้งยาวนาน มีอัตราการระเหยของน้ำสูง การเคลื่อนย้ายของน้ำใต้ดินจะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ปัญหาดินเค็มจึงเกิดอย่างรุนแรงในฤดูแล้ง นอกจากนี้กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์เช่น การทำนาเกลือ ซึ่งทำให้การแพร่กระจายของพื้นดินเค็มในภูมิภาคนี้เพิ่มขึ้น และส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มในดินเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา



ภาพที่ 1 การกระจายของพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

คุณสมบัติด้านต่างๆ ของดินเค็มนั้นจะขึ้นกับ ชนิด, ปริมาณ, และ สถานะของเกลือที่อยู่ภายในมวลดิน เช่นเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เมื่อเป็นสารละลายจะเข้าแทรกอยู่ในช่องว่างเล็กๆ ระหว่างอนุภาคของเม็ดดิน ประจุของโซเดียม ( $\text{Na}^+$ ) จะดูดซับน้ำเข้าหาตัวเองทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นเหตุให้ความหนาของน้ำในชั้น Double Layer รอบๆ อนุภาคเม็ดดินเพิ่มขึ้น อนุภาคดินอยู่ห่างกันมากขึ้น เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นแรงผลักระหว่างอนุภาคดินจะทำให้ดินที่มีความหนาแน่นสูงขึ้น และมีแนวโน้มทำให้กำลังรับแรงเฉือนสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

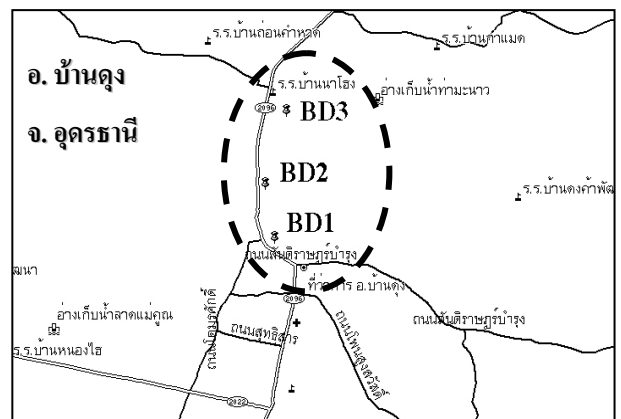
## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การทำวิจัยนี้เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของระดับความเค็ม ของดินที่มีอิทธิพลกำลังรับแรงเฉือน และระดับการกระจายตัวของดิน โดยมีการเปลี่ยนแปลงระดับความอึดตัวของดิน ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อสถานะของเกลือในดิน อีกทั้งเป็นการพัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับดินเค็ม เพื่อประโยชน์ในการป้องกันปัญหาจากการใช้ดินเค็มมาเป็นวัสดุในงานทางวิศวกรรมต่อไป

โดยระดับความเค็มของดินนี้ จะวัดจากค่าความนำไฟฟ้า (Electric Conductivity, EC) ของดิน ซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิซีเมนส์ต่อเมตร (dS/m)

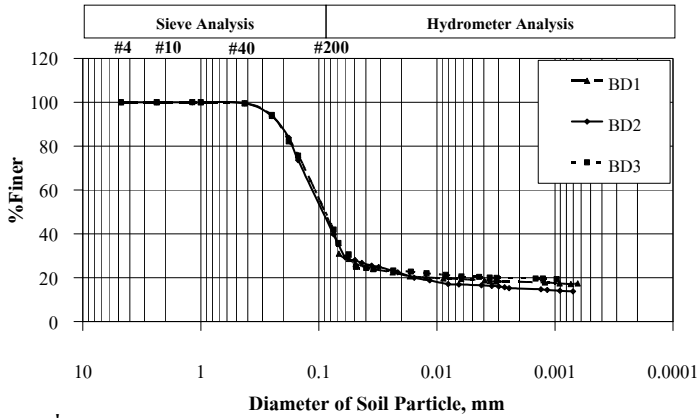
## 3. ตัวอย่างดินที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) และแปลงสภาพ (Disturbed Sample) ที่เก็บมาจากเขตอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินในบริเวณที่มีการทำนาเกลือสินเธาว์แบบตากทั้งสิ้น 3 แหล่ง คือแหล่ง BD1, BD2, และ BD3 ซึ่งอยู่บริเวณเลียบทางหลวงหมายเลข 2096 (บ้านดุง-บ้านม่วง) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างดินบริเวณเลียบทางหลวงหมายเลข 2096

จากการเก็บตัวอย่างดินในสนามพบว่า ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกลงไปประมาณ 1.50 ม. จากระดับผิวดิน ลักษณะดินตัวอย่างทั้ง 3 แหล่งมีลักษณะคล้ายคลึงกันคือ เป็นดินทรายละเอียดสีเหลือง-แดง สามารถวัดระดับความเค็มของตัวอย่างดินทั้งสามแหล่งได้เท่ากับ 70.96, 57.85, และ 31.64 dS/m สำหรับแหล่ง BD1, BD2, และ BD3 ตามลำดับ โดยคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างดินแสดงดังภาพที่ 3 และตารางที่ 1 ได้ดังนี้



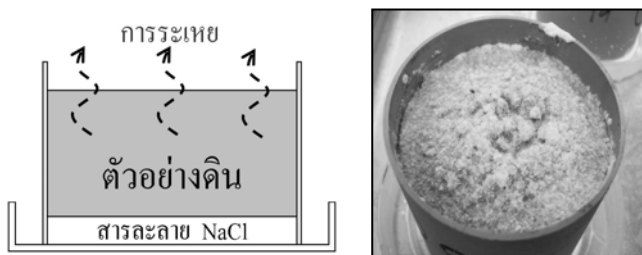
ภาพที่ 3 การกระจายขนาดของเม็ดดินในเขต อ.บ้านคุง จ.อุดรธานี

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและการจำแนกชนิดของดิน

Test	Depth	$G_s$	$w_n$	$\gamma_t$	LL	PI	USCS
Pit	(m)		(%)	( $t/m^3$ )	(%)	(%)	
BD1	0.50	2.65	15.86	2.04	24.91	4.78	SM-SC
BD2	1.20	2.65	12.55	1.97	25.99	6.46	SM-SC
BD3	0.50	2.68	8.46	1.95	29.63	12.17	SC

#### 4. การเพิ่มระดับความเค็มของดินสำหรับทดสอบ

การเพิ่มระดับความเค็มของตัวอย่างดินคงสภาพทำได้โดยการให้สารละลาย NaCl จากเกลือสินเธาว์ที่ได้จากการทำนาเกลือที่ อ.บ้านคุง ซึมเข้าไปในตัวอย่างดินคงสภาพที่อยู่ในกระบอกร PVC โดยการจำลองการเคลื่อนที่ของเกลือในดินตามธรรมชาติที่อาศัยการระเหยของน้ำเค็มใต้ดินและแรงคาปิลลารี (Capillary Force) ช่วยนำเกลือขึ้นมาสะสมในดิน ดังแสดงได้ในภาพที่ 4 จากการตรวจสอบระดับความเค็ม พบว่าสามารถเพิ่มความเค็มให้ดินได้สูงสุดที่ EC เท่ากับ 333.59 dS/m



(ก.) ภาพจำลองวิธีการเพิ่มความเค็มในดิน

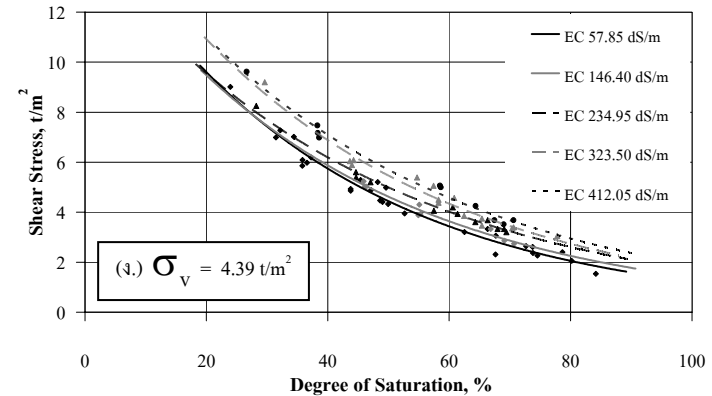
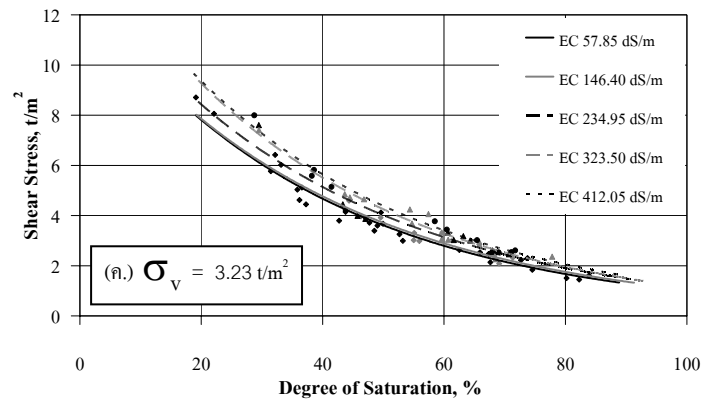
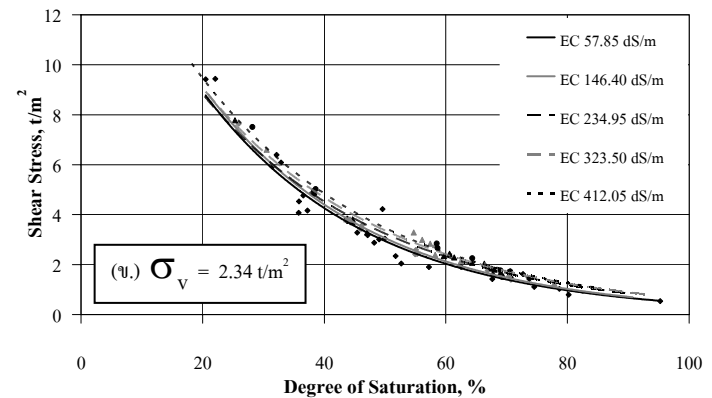
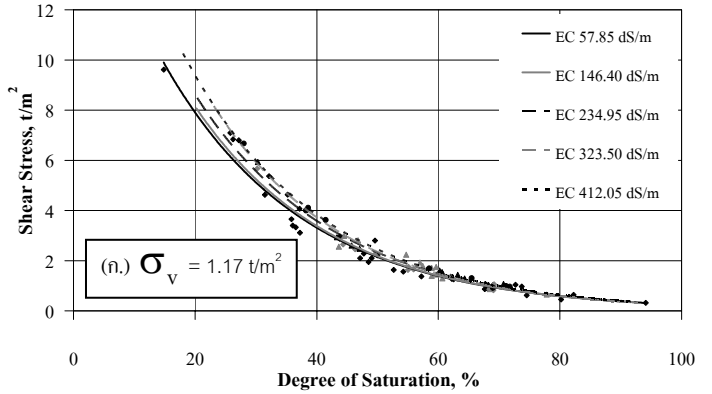
(ข.) คราบเกลือบนผิวดิน

ภาพที่ 4 การเพิ่มระดับความเค็มในตัวอย่างดินคงสภาพ

#### 5. การทดสอบแรงเฉือนโดยตรง

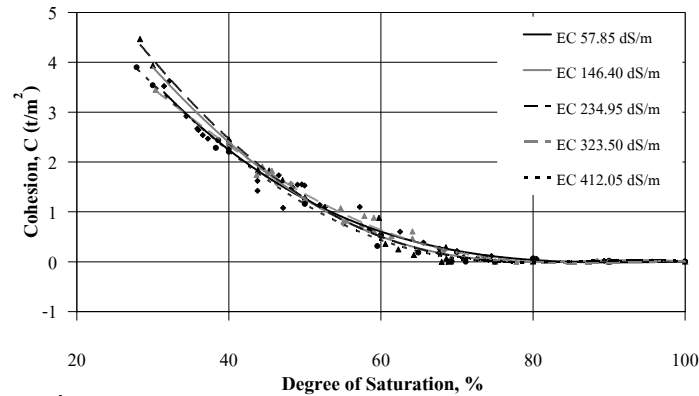
การทดสอบหาค่าหน่วยแรงเฉือน (Shear Stress,  $\tau$ ) ของดินในการวิจัยนี้ ทดสอบด้วยการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) แบบ Consolidated Drained Test (CD test)

มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเค็มของดิน กับค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุด (Peak Shear Stress) และพารามิเตอร์ของกำลังเฉือน ( $c, \phi$ ) ของดิน ผลจากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงในภาพที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงเฉือนสูงสุด ( $\tau$ ) ของดินที่ระดับความเค็ม (EC), ระดับความอิ่มตัว (S), และค่าหน่วยแรงในแนวตั้ง ( $\sigma_v$ ) ต่าง ๆ

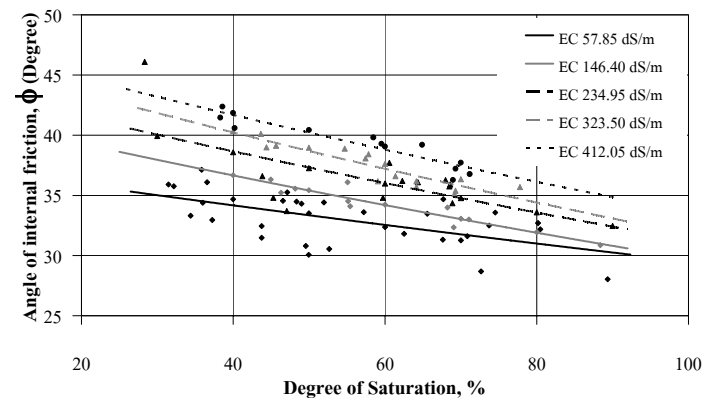


ภาพที่ 5 ค่า  $\tau$  ของดินที่ระดับความเค็มและระดับความอิ่มตัวต่าง ๆ

พิจารณาค่าพารามิเตอร์ของกำลังเฉือน (Shear Strength Parameter) คือแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion,  $c$ ) และมุมเสียดทานภายใน (Angle of Internal Friction,  $\phi$ ) ของตัวอย่างดินจากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง ที่ระดับความอิ่มตัวและระดับความเค็มต่างๆ กัน สามารถสรุปผลการทดสอบแสดงได้ดังภาพที่ 6 ถึงภาพที่ 7

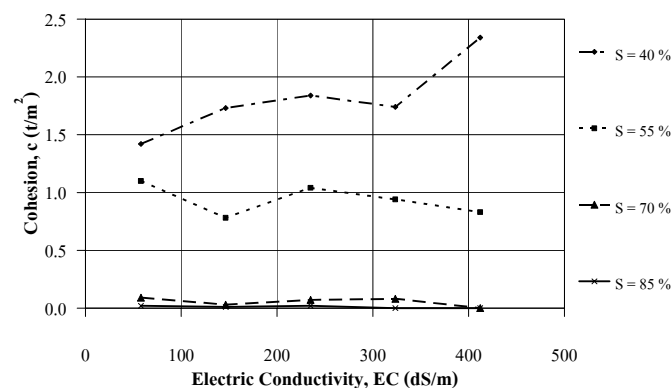


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $c$  กับระดับความอิ่มตัว (S)

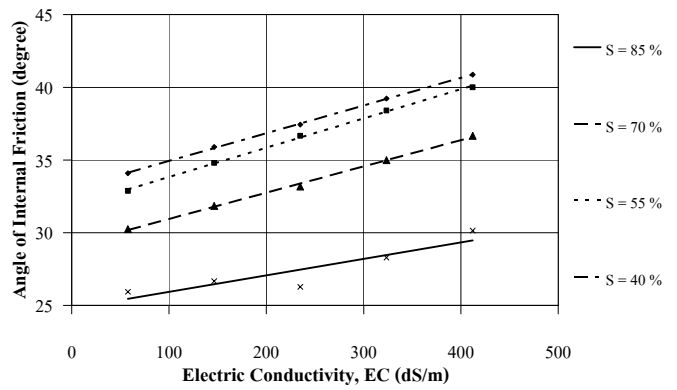


ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\phi$  กับระดับความอิ่มตัว (S)

เมื่อนำผลการทดสอบมาคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเค็ม กับแรงยึดเหนี่ยว และมุมเสียดทานภายใน แสดงดังในภาพที่ 8 และภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $c$  กับระดับความเค็มของดิน (EC)



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\phi$  กับระดับความเค็มของดิน (EC)

จากผลการทดสอบหน่วยแรงเฉือน ( $\tau$ ) ของดินที่ระดับความเค็ม (EC) และระดับความอิ่มตัว (S) ต่างๆ กันพบว่าค่าหน่วยแรงเฉือนของดินมีค่าน้อยลงเมื่อระดับความอิ่มตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีหน่วยแรงประสิทธิผลในกรณีที่ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil) และค่าหน่วยแรงเฉือนของดินมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับความเค็มของดินเพิ่มขึ้น โดยสามารถพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ของกำลังเฉือน ( $c, \phi$ ) เฉลี่ยของดินได้ดังนี้

- ค่า  $c$  จะลดลงเมื่อระดับความอิ่มตัวเพิ่มขึ้น และค่า  $c$  จะลดลงจนมีค่าประมาณเท่ากับศูนย์ เมื่อระดับความอิ่มตัวเท่ากับ 80 % ถึง 100 % เนื่องจากตัวอย่างดินที่ทดสอบสามารถจำแนกได้เป็น SM – SC คือ เป็นดินที่มีความเหนียวต่ำ (Cohesionless) การที่ค่า  $c$  มีค่ามากเมื่อระดับความอิ่มตัวน้อยๆ ก็เพราะมีแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ขึ้นในดิน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มของดินไม่มีผลหรือมีผลน้อยมากต่อค่า  $c$  และไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่เด่นชัดได้ในการวิจัยครั้งนี้ แม้ว่าความชื้นในดินจะสามารถละลายเกลือบางส่วนให้แตกตัวเป็น  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  และโดยทฤษฎีแล้วประจุเหล่านี้จะช่วยในการเพิ่มหรือลดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเม็ดดินได้ ซึ่งจะมีอิทธิพลกับอนุภาคเม็ดดินที่มีขนาดเล็กๆ (เล็กกว่า 0.002 mm) แต่จากการทดสอบหาการกระจายของขนาดเม็ดดิน พบว่าขนาดอนุภาคของดินที่นำมาทดสอบนี้ส่วนมากจะมีขนาดใหญ่เกินกว่าจะได้รับอิทธิพลจากประจุไฟฟ้าเหล่านี้ มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เป็นดินเม็ดละเอียดกว่า 0.002 mm ดังนั้นการเพิ่มเกลือในดินจึงส่งผลน้อยมากต่อค่า  $c$  ของดิน

- ค่า  $\phi$  จะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเค็มของดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากในการทดสอบนี้ใช้เกลือสินเธาว์ในการเพิ่มความเค็มให้ดิน โดยสถานะที่ความชื้นและอุณหภูมิปกติแล้วเกลือจะอยู่ในรูป

ของแข็ง เมื่อเกลืออยู่ในดินก็จะแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคเม็ดดินซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มแรงเสียดทานให้กับดิน ทำให้  $\phi$  เพิ่มขึ้นเมื่อมีเกลือในดินเพิ่มขึ้น อัตราการเพิ่มขึ้นของค่ามุมเสียดทานภายใน ( $\phi$ ) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการการเพิ่มขึ้นของระดับความเค็ม และการลดลงของระดับความอิ่มตัวคือ เมื่อระดับความอิ่มตัวลดลงทุก ๆ 10 % แล้ว ดินที่ระดับความเค็ม EC เท่ากับ 57.85 dS/m ค่า  $\phi$  จะเพิ่มขึ้น 0.80 องศา, EC เท่ากับ 146.40 dS/m ค่า  $\phi$  จะเพิ่มขึ้น 1.20 องศา, EC เท่ากับ 234.95 dS/m ค่า  $\phi$  จะเพิ่มขึ้น 1.35 องศา, EC เท่ากับ 323.50 dS/m ค่า  $\phi$  จะเพิ่มขึ้น 1.47 องศา, และ EC เท่ากับ 412.05 dS/m ค่า  $\phi$  จะเพิ่มขึ้น 1.41 องศา การที่ค่า  $\phi$  ของตัวอย่างดินลดลงเมื่อระดับความอิ่มตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น น้ำในดินก็จะเข้าไปละลายเกลือจากของแข็งให้เป็นสารละลาย ทำให้ผลึกเกลือที่เป็นของแข็งมีปริมาณลดลง ส่งผลให้เกลือที่เคลือบช่วยเพิ่มแรงเสียดทานให้กับดินลดลง จึงทำให้ค่า  $\phi$  ลดลงด้วย

## 6. การทดสอบหาระดับการกระจายตัวของดิน

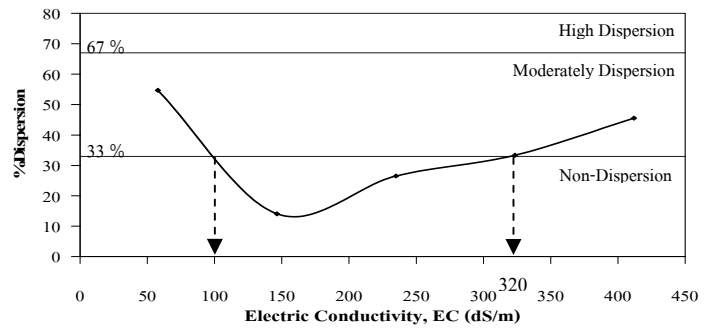
การวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างดินที่มีระดับความเค็มที่ EC เท่ากับ 57.85, 146.40, 234.95, 323.50, และ 412.05 dS/m เพื่อทดสอบหาระดับการกระจายตัวด้วยการทดสอบดับเบิลไฮโดรมิเตอร์ และการทดสอบพินโฮลล์

### 6.1 การทดสอบการทดสอบดับเบิลไฮโดรมิเตอร์

การทดสอบดับเบิลไฮโดรมิเตอร์ (Double Hydrometer Test) เป็นการทดสอบหาระดับการกระจายตัวของดินโดยใช้การเปรียบเทียบจากร้อยละของอนุภาคดินเหนียวขนาดเล็กตั้งแต่ 0.005 mm ลงไป จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4221 เทียบกับการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 422 โดยผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2 และ ภาพที่ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบดับเบิลไฮโดรมิเตอร์

EC (dS/m)	% passing 0.005 mm		%	Classification of Soil
	D 422	D 4221		
57.85	23.92	13.08	54.70	Moderately Dispersion
146.40	25.58	3.59	14.04	Non-Dispersion
234.95	26.03	6.90	26.52	Non-Dispersion
323.50	29.86	9.95	33.33	Moderately Dispersion
412.05	35.85	16.33	45.54	Moderately Dispersion



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการกระจายตัว กับระดับความเค็ม

จากภาพที่ 10 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเค็มของดินกับระดับการกระจายตัว พบว่าที่ระดับความเค็มของดินอยู่ในช่วง EC เท่ากับ 100 ถึง 320 dS/m โดยประมาณ จะทำให้ดินอยู่ในระดับไม่กระจายตัว (% Dispersion น้อยกว่า 33 %) โดยที่ EC ประมาณ 150 dS/m ค่าการกระจายตัวของดินมีค่าน้อยที่สุด (ประมาณ 13 %) และถ้าระดับความเค็มเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากกว่านี้จะทำให้ค่าการกระจายตัวของดินเพิ่มขึ้น

### 6.2 การทดสอบพินโฮลล์

การทดสอบพินโฮลล์ (Pinhole Test, ASTM D 4647) เป็นวิธีการประเมินค่าการกัดเซาะ โดยให้น้ำบริสุทธิ์ไหลผ่านตัวอย่างดินที่มีขนาดยาว 25.4 mm ซึ่งได้ถูกบดอัดให้มีความหนาแน่นแห้งมากกว่า 95 % ของการบดอัดแบบมาตรฐาน และเจาะรูเล็กๆ ขนาด 1 mm แล้วปล่อยให้ น้ำไหลผ่านรูได้ที่มีความดันของน้ำขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 2 นิ้ว ถึง 40 นิ้ว ตามเวลาที่กำหนด สังเกตความขุ่นของน้ำ, วัดอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกมา, และวัดขนาดรูของตัวอย่างดินที่เจาะไว้หลังจากผ่านน้ำไปแล้ว เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ตัวอย่างดินที่ไม่กระจายตัวหรือทนทานต่อการถูกกัดเซาะ รูที่เจาะไว้จะไม่แตกออก และน้ำที่ไหลผ่านออกมาจะใส ส่วนดินที่กระจายตัวรูจะแตกออกเป็นรูกว้างขึ้น และน้ำที่ไหลออกมาจะขุ่น

ในการวิจัยนี้ ทำการบดอัดตัวอย่างดินทุกๆ ระดับความเค็มให้มีความหนาแน่นแห้งเท่ากัน คือ เท่ากับ  $1.90 \text{ t/m}^3$  (มากกว่า 95% ของ  $\gamma_{dmax}$  จากการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน) และความชื้นที่ใช้ในการบดอัดประมาณ 10 % โดยสามารถสรุปผลการทดสอบ และการจำแนกระดับการกระจายตัวของดินที่ระดับความเค็มต่างๆ ได้ดังภาพที่ 11

Classification							
Dispersive	D1	D1	57.85	146.40	234.95	323.50	
	D2						D1
Intermediate	ND4	ND4	146.40	234.95	323.50	412.05	
	ND3						
Nondispersive	ND2	ND1	57.85	146.40	234.95	323.50	
	ND1						
EC (dS/m) >>			57.85	146.40	234.95	323.50	412.05

ภาพที่ 11 ผลการทดสอบพินโฮลล์ของดินที่ระดับความเค็มต่าง ๆ กัน

การจำแนกระดับของการกระจายตัวของดินด้วยวิธีการทดสอบพินโฮลล์ แสดงให้เห็นว่าดินที่มี EC เท่ากับ 146.40 dS/m จะมีระดับการกระจายตัวของดินลดลงน้อยที่สุดคือมีระดับการกระจายตัวอยู่ที่ระดับ ND4 (จัดเป็นดินที่อาจกระจายตัว หรือกระจายตัวน้อย) และถ้าระดับความเค็มเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากกว่านี้จะทำให้ระดับการกระจายตัวของดินเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความเค็มตามธรรมชาติ (EC = 57.85 dS/m) กับที่ระดับความเค็ม EC เท่ากับ 412.05 dS/m จะมีระดับการกระจายตัวอยู่ที่ระดับ D1 (ดินกระจายตัวสูงมาก) และที่ระดับความเค็ม EC เท่ากับ 234.95 dS/m กับที่ระดับความเค็ม EC เท่ากับ 323.50 dS/m จะมีระดับการกระจายตัวอยู่ที่ระดับ D2 (จัดเป็นดินกระจายตัว)

## 7. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของระดับความเค็มของดินที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเค็ม โดยเก็บตัวอย่างในบริเวณที่มีการทำนาเกลือสินเธาว์ในเขตอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี สามารถจำแนกชนิดของดินตามระบบ USCS ได้เป็น SM-SC ภายหลังทำการทดสอบดินที่มีระดับความเค็มต่างๆ กันสามารถสรุปผลได้ดังนี้

7.1 ค่าหน่วยแรงเฉือนของดินมีค่ามากขึ้นเมื่อระดับความอืดตัวลดลง และระดับความเค็มของดินเพิ่มขึ้น

7.2 ค่าแรงยึดเหนี่ยว (c) จะลดลงเมื่อระดับความอืดตัวเพิ่มขึ้น และมีค่าประมาณเท่ากับศูนย์เมื่อระดับความอืดตัวเท่ากับ 80 % ถึง 100 % ส่วนการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มของดินไม่มีผลหรือมีผลน้อยมากต่อค่า c และไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่ชัดเจนได้ในกรณีนี้

7.3 ค่ามุมเสียดทานภายใน ( $\phi$ ) จะเพิ่มขึ้น เมื่อ EC เพิ่มขึ้น และระดับความอืดตัวลดลง โดยเมื่อระดับความอืดตัวลดลงทุก ๆ 10 % ค่ามุมเสียดทานภายในจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.80,

1.20, 1.35, 1.47 และ 1.41 องศา ที่ค่า EC ของดินเท่ากับ 57.85, 146.40, 234.95, 323.50, และ 412.50 dS/m ตามลำดับ

7.4 การทดสอบการกระจายตัวของดินเค็มที่ระดับความเค็มต่างกันทั้ง 2 วิธีคือ การทดสอบด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ และการทดสอบพินโฮลล์ ให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกันคือ ดินจะมีค่าการกระจายตัวต่ำที่สุดเมื่อมีระดับความเค็มที่ EC ประมาณ 146.40 - 150.00 dS/m และถ้าระดับความเค็มเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากกว่านี้จะทำให้ค่าการกระจายตัวของดินเพิ่มขึ้น

## 8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจาก ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ประจำปีงบประมาณ 2547 สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา โดยบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## 9. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาที่ดิน, 2524. โครงการศึกษาและพัฒนาพื้นที่ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประจำปี 2525-2529. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- [2] เทพฤทธิ์ ตุลาพิทักษ์ และ สมศักดิ์ สุขจันทร์, 2546. การศึกษาหาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินเค็มที่มีสาเหตุหลักจากการทำนาเกลือ. ภาควิชาทรัพยากรดิน และ สิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 32 น.
- [3] ยุทธลักษณะ ชูวรเชษฐ์, 2548. การศึกษาระดับของความเค็มที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติไกร และ ประทีป ดวงเดือน, 2522. ปฏิวัติกลศาสตร์ทฤษฎีและปฏิบัติการ. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 180 น.
- [5] American Society for Testing and Materials, 1998. Test Designation D 4221, Standard Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay Soils by the Pinhole Test. ASTM, Philadelphia
- [6] American Society for Testing and Materials, 1999. Test Designation D 4221, Standard Test Method for Dispersive Characteristics of Clay Soil by Double Hydrometer. ASTM, Philadelphia
- [7] Petrkhim, V.P. 1993, Construction of Structures on Saline Soils. A.A. Balkema Publishers, Brookfield.
- [8] Rimwanich, S. and B. Suebsiri, 1984. Nature and Management of Problem Soils in Thailand, pp. 15-17. In Ecology and management of problem soils in Asia. FFTC. Book Series No. 27.